

红外探测器频谱特性自动测量装置

石保安 王惠英 张爱军

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要——讨论了使用频谱仪和微机系统测量红外探测器频谱特性的方法, 采用频谱仪的扫频装置和大功率 GaAs 发光二极管作为调制光源, 快速测量了红外探测器的噪声谱频 $N(f)$, 响应率频谱 $R(f)$ 和探测率频谱 $D^*(f)$. 复盖频率范围为 3 Hz~200 kHz.

关键词——频谱特性, 红外探测器测量, 自动测试.

1. 引 言

近几年来, 随着快扫描付里叶光谱技术及远红外激光探测技术的发展, 对热释电探测器较高频率的频谱特性提出了相应的要求. 为此, 建立快速的自动测试系统来取代手工测量方法, 解决了成批量的常规测量.

我们研制的红外探测器频谱特性的频谱仪——计算机自动测试系统, 其测量频率范围为 3 Hz~200 kHz, 适用于检测多种红外探测器.

2. 测量原理及方法

2.1 测量原理

按红外探测器响应率的定义, 响应率与入射辐射功率 $P(f, \lambda)$ 及响应信号 $V(f, \lambda)$ 的关系为

$$R(f, \lambda)d\lambda = \frac{V(f, \lambda)d\lambda}{P(f, \lambda)};$$

对于一定温度下的黑体及一定波长的单色辐射, 只要 $P(f, \lambda)$ 与调制频率无关, 即 $P(\lambda)$ 为常数, 那么就有 $R(f) \propto V(f)$; 通过响应信号 $V(f)$ 的测量就可以直接得出探测器响应率同频率的关系, 即得到频谱响应. 结合噪声频谱的测量可以得出探测率频谱分布.

2.2 测量方法

红外探测器频谱特性参数自动测量的关键在于取得连续变频的调制光源。方法之一是使用变速调制盘。它的优点是能够直接得出探测器的黑体响应率和黑体探测率，但是由于驱动电机变速的限制，调制频率范围不可能很大。方法之二是采用电光调制或磁光调制，这要比机械调制优越得多。使激光或宽谱光源产生偏振光，通过电光晶体的偏压调制或磁光晶体驱动线圈电流的调制，使反射或透射的偏振光成为交变的调制光。这种方法的优点是调制频率可以很高，便于控制，又无机械振动；但是需要配备相应的光学组件，如起偏器、聚光器等，而且对电子设备，如变频电源、放大器，滤波器及记录仪等也有相当高的要求。方法之三是采用光源自身调制，这是最为简便的方法。这种方法的关键是选用合适的光源。白炽灯由于热惰性太大，调制频率很低，而且变频光强随频率升高急剧下降，光强的校正十分困难；氖灯及其它气体放电光源都存在辐射波长太狭，能量过小等问题；小功率砷化镓发光管对于热释电探测器及配有红外滤光片的其它探测器也不适用；我们选用国产 HG500 型大功率砷化镓发光二极管，其最高调制频率可达 1 MHz，发射波长为 $0.93\ \mu\text{m}$ ，谱宽为 $0.04\ \mu\text{m}$ ，发射功率可达 300 mW。使用 B&K 2010 频谱分析仪的功率输出 (0.75 W) 足以驱动其工作，我们的实验表明，对于热释电、热敏电阻探测器及其它红外探测器，这是一种合适的调制光源。

利用 B&K 频谱分析仪的自动扫频、频谱分析及连续记录等功能，并配合计算机进行相应的信号处理，可实现红外探测器频谱参数的自动测量。

测量系统的方框图如图 1 所示。

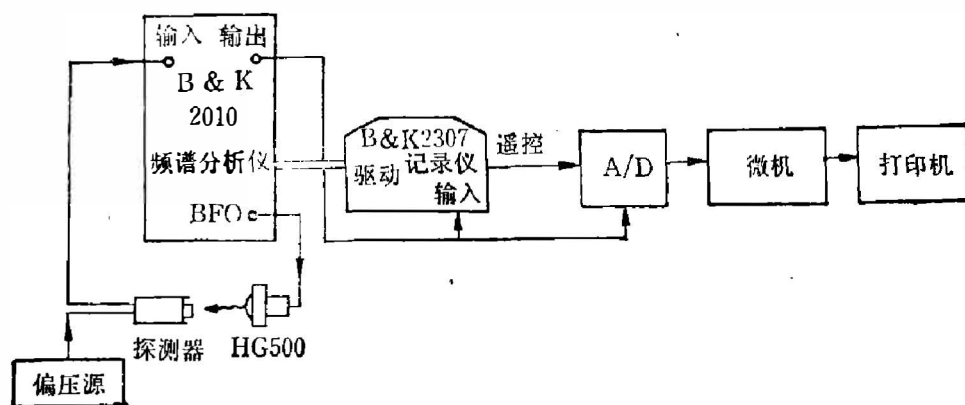


图 1 红外探测器频谱参数自动测量系统

Fig. 1 Block diagram of the system for measuring frequency performances of IR detectors.

测量过程：首先按被测探测器的时间常数来确定测量频率范围。仪器有三个频段可供选择，即 $3\ \text{Hz}\sim 2\ \text{kHz}$ ， $30\ \text{Hz}\sim 20\ \text{kHz}$ ， $300\ \text{Hz}\sim 200\ \text{kHz}$ 。然后确定出纸速度，即扫频速率，这由频率范围和测量记录时间来决定，扫频速率与所测频率成反比。频率越高，扫频速率应越慢。但测量记录时间相应变长。为了在尽可能短的时间内完成测量，出纸速度不可太慢。将两方面折衷考虑，并经噪声电平测量实验比较，证明出纸速度 $1\ \text{mm/s}$ 与 $0.01\ \text{mm/s}$ 的测量结果相互吻合。扫频速率确定后，再选取合适的通带带宽和有效积分时间，在热释电探测器的常规测量中，频率范围多选用 $3\ \text{Hz}\sim 2\ \text{kHz}$ ，通带带宽为 $3\ \text{Hz}$ ，噪声测量的有效时

间选为 3s, 响应测量选为 1s, 出纸速度为 1 mm/s. 控制计算机的采样速率, 要求在整个测量频率范围内采集规定数目的测量数据.

辐射功率的调节对响应测量至关重要.

B&K 2010 的拍频振荡器(BFO)功率输出驱动砷化镓发光二极管连续调制. 其波形是占空比约为 1:2 的矩形脉冲. 需使波形在整个测量频率范围内保持恒定. 探测器把接收信号通入 B&K 2010 的输入端, 经选频放大后的均方根电压在 B&K 2307 记录仪上记录下来. 这一被测信号同时并联输入 A/D 转换器, 经计算机处理, 最后在打印机上绘图. 12 位 A/D 转换器使用 2 个通道, 一个用来接收被测模拟电压信号, 另一通道联接 2307 的遥控接头, 接收启动信号.

计算机数据处理流程图如图 2 所示.

数据处理的关键是使所测数据的表示格式应与 B&K 系统相匹配. 一般响应频谱电压的动态范围较大, 有时达 2 个数量级以上, 需进行对数处理并符合 B&K 2307 相应要求. 所用 B&K 衰减器为 50 dB, 要求输入信号电平在 10 mV~3.16 V 范围内. 这样, 计算机所得数据可与 B&K 2307 记录结果直接比较, 这对测量结果的直观检验提供很大方便.

3. 测量结果

(1) 采用室温 InSb 探测器(时间常数 $\ll 1\mu\text{s}$) 作为接收器, 检测 HG 525 砷化镓发光二极管的辐射光强与频率的关系. 测量结果证明: 在 200 kHz 频率范围内的辐射功率是恒定的.

(2) 对本系统的自动测量值与定点手动测量值进行了比较. 图 3 标出了 LATGS 热释电探测器的测试结果. 由图 3 可见, 对于响应率与探测率的频谱分布, 两种方法测量的结果基本上是符合的. 手动测量的噪声频谱在高频段定点测量值稍高, 这主要是因为积分时间不同造成的. 虽然自动测量值偏低, 但还是在测量误差范围之内.

(3) 采用本装置测量了热敏电阻探测器、PbS 探测器、HgCdTe 探测器及选频 10 Hz 和选频 10 kHz 的热释电探测器, 如 LATGS、DLATGS、LiTaO₃、PVF₂、PbTiO₃ 等, 重复性均良好, 偏差 $< 10\%$.

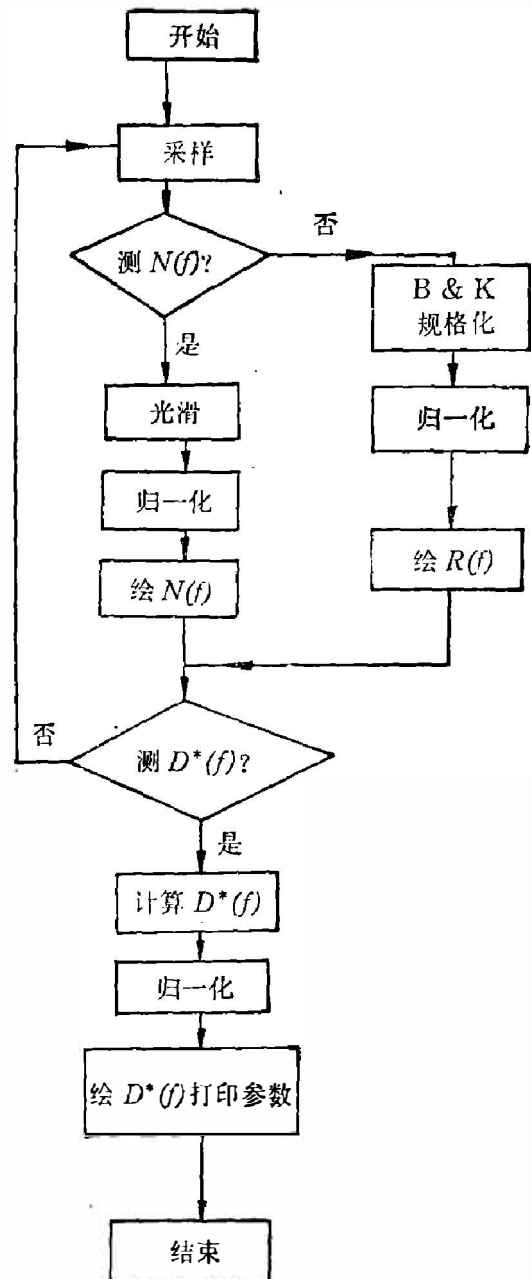
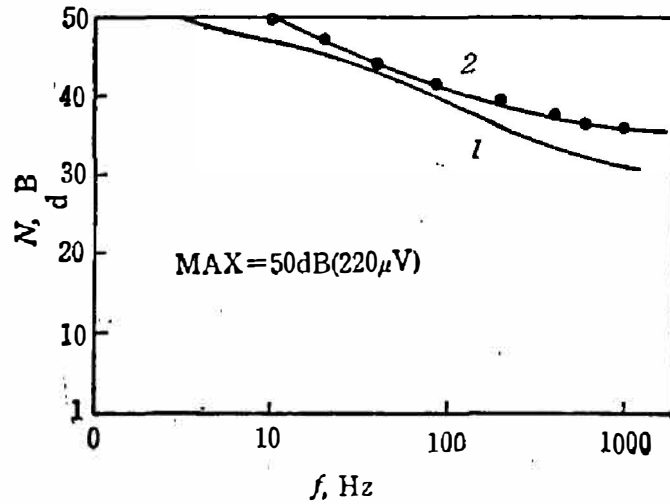


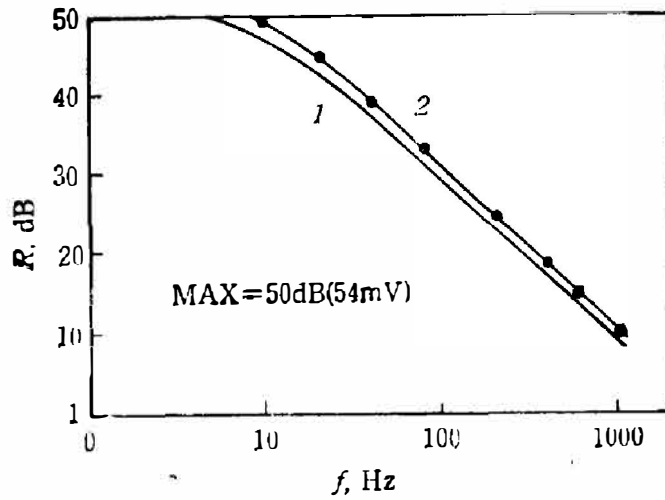
图 2 计算机数据处理流程图

Fig. 2 Flow chart of data processing.



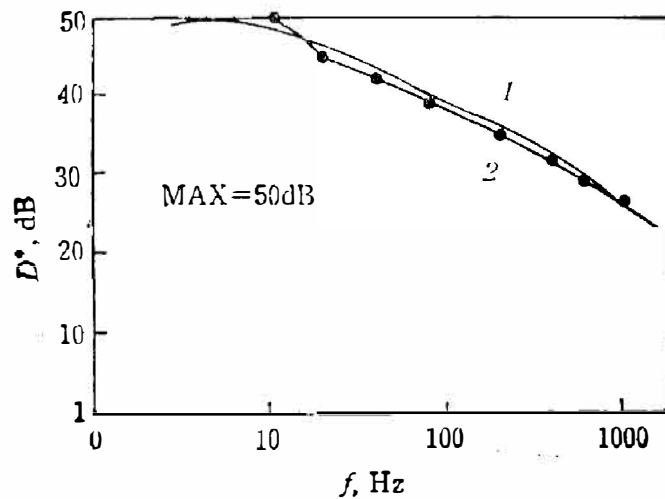
(a) 噪声频谱特性

1—自动测量; 2—定点手测 (积分 $T=30s$)



(b) 响应率频谱特性

1—自动测量; 2—定点手测 (194 A 调制盘)



(c) 探测率频谱特性

1—自动测量; 2—定点手测

图 3 热释电探测器特性自动测量与手动测量之比较

Fig. 3 Comparison of automatically and manually measured data of the performances of pyroelectric detector.

4. 讨 论

探测率频谱 $D^*(f)$ 的精确度性主要取决于噪声测量误差。在常规测试条件下, 选取频谱分析仪的带宽 $B=3.16$ Hz, 有效积分时间 $\tau=3$ s, 可知测量的均方根误差 $\varepsilon=1/(2\sqrt{B\tau}) \approx 17\%$ 。

响应率频谱 $R(f)$ 的测量重复性很好。但必须掌握好测量条件。砷化镓发光二极管的输出光强不宜过小, 以保证在测量频率范围内波形恒定。

根据功率谱密度分析理论, 基本扫描速率限制应满足 $R \leq B/T$ 。由此可以选择记录的最佳出纸速度。

设某一频率 f 下的纸长为 L , 在对数坐标情况下, 有

$$\frac{L}{L_1} = \frac{\log(f/f_0)}{\log(f_1/f_0)}$$

式中, f_0 为坐标原点所对应的频率。由上式, 出纸速度为

$$V = \frac{dL}{dt} = \frac{L_1 \log e}{\log(f_1/f_0)} \frac{1}{f} \frac{df}{dt} = \frac{L_1 \log e}{\log(f_1/f_0)} \frac{1}{f} \frac{B}{T}$$

取 $L_1=100$ mm, 对应频率 $f_1=100$ Hz, 则

$$V = \frac{21.7}{f} (\text{mm/s});$$

由上式可知, 出纸速度与所测频率成反比。由于测量过程中出纸速度是恒定的, 所以应依据测量频率的范围, 在允许误差条件下选取适当的出纸速度。

参 考 文 献

- [1] AD257597, (1965).
- [2] AD 272527, (1965).
- [3] B. D. 小哈得逊, 红外系统原理, 北京: 国防工业出版社, (1979).

AN AUTOMATIC SYSTEM FOR MEASURING FREQUENCY PERFORMANCES OF IR DETECTORS

SHI BAO'AN WANG HUIYING ZHANG AIJUN

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, 200083, Shanghai, China)

ABSTRACT

A method for measuring frequency performances of IR detectors by using wave analyser and microcomputer is described.

Using a frequency scanning device and a GaAs LED as a modulated source, the noise frequency spectrum $N(f)$, frequency spectra of responsivity $R(f)$ and detectivity $D^*(f)$ for IR detectors are fast measured over the frequency range 3 Hz ~ 200 kHz.